

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS
- BLANK PAGES

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

DERWENT-ACC-NO: 1993-180070
DERWENT-WEEK: 199322
COPYRIGHT 1999 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Channel optical guide prodn. for hybrid integrated circuit - by forming guide on silicon@ wafer, etching to remove end part, and heating to form spherical lens at endface (J6 20.1.86)

PATENT-ASSIGNEE: NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE CORP[NITE]

PRIORITY-DATA: 1984JP-0131866 (June 28, 1984)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PUB-DATE	LANGUAGE	PAGES	MAIN-IPC
JP 93031124 B	May 11, 1993	N/A	007	G02B 006/12
JP 61011708 A	January 20, 1986	N/A	000	G02B 006/12

APPLICATION-DATA:

PUB-NO	APPL-DESCRIPTOR	APPL-NO	APPL-DATE
JP 93031124B	N/A	1984JP-0131866	June 28, 1984
JP 93031124B	Based on	JP 61011708	N/A
JP 61011708A	N/A	1984JP-0131866	June 28, 1984

INT-CL (IPC): G02B006/12; G02B006/42

ABSTRACTED-PUB-NO: JP 93031124B

BASIC-ABSTRACT: The prodn. comprises forming a channel optical guide on a Si wafer, etching the Si wafer to remove its end part, and heating the end part to form a spherical lens at the endface of the guide.

Used for mfg. hybrid optical ICs. (J61011708-A)

CHOSEN-DRAWING: Dwg.0/6

TITLE-TERMS:

CHANNEL OPTICAL GUIDE PRODUCE HYBRID INTEGRATE CIRCUIT FORMING GUIDE
SILICON@
WAFER ETCH REMOVE END PART HEAT FORM SPHERE LENS ENDFACE

ADDL-INDEXING-TERMS:

IC

DERWENT-CLASS: L03 P81

CPI-CODES: L03-G02; L04-A01; L04-C07; L04-F04;

UNLINKED-DERWENT-REGISTRY-NUMBERS: 1666U

SECONDARY-ACC-NO:

CPI Secondary Accession Numbers: C1993-079923
Non-CPI Secondary Accession Numbers: N1993-138366

⑪ 公開特許公報(A)

昭61-11708

⑫ Int. Cl.

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 昭和61年(1986)1月20日

G 02 B 6/12
// G 02 B 6/428507-2H
7529-2H

審査請求 未請求 発明の数 2 (全6頁)

⑭ 発明の名称 端面レンズ付チャネル光導波路およびその製造方法

⑮ 特 願 昭59-131866

⑯ 出 願 昭59(1984)6月28日

⑰ 発 明 者 山 田 泰 文 那珂郡東海村大字白方字白根162番地 日本電信電話公社
茨城電気通信研究所内⑱ 発 明 者 河 内 正 夫 那珂郡東海村大字白方字白根162番地 日本電信電話公社
茨城電気通信研究所内⑲ 発 明 者 安 光 保 那珂郡東海村大字白方字白根162番地 日本電信電話公社
茨城電気通信研究所内⑳ 発 明 者 小 林 盛 男 那珂郡東海村大字白方字白根162番地 日本電信電話公社
茨城電気通信研究所内

㉑ 出 願 人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

㉒ 代 理 人 弁理士 谷 義 一

明 細 書

1. 発明の名称

端面レンズ付チャネル光導波路およびその製造方法

2. 特許請求の範囲

- 1) シリコン基板上に形成したチャネル光導波路において、前記シリコン基板には、前記チャネル光導波路のうち、少なくとも端部付近のシリコン基板が除去されるようにくぼみを設け、そのチャネル光導波路の端面にレンズを設けたことを特徴とする端面レンズ付チャネル光導波路。
- 2) シリコン基板上にチャネル光導波路を形成する工程と、前記シリコン基板のうち、前記チャネル導波路の少なくとも端部付近のシリコン基板を除去する工程と、前記チャネル光導波路の端部を加熱溶融して前記チャネル光導波路の端面にレンズを形成する工程とを具えたことを特徴とする端面レンズ付チャネル光導波路の製造方法。

3. 発明の詳細な説明

〔技術分野〕

本発明は、ハイブリッド形光集積回路を構成する上で重要な、発光素子とチャネル光導波路との簡便で高效率結合を可能とする端面レンズ付チャネル光導波路およびその製造方法に関するものである。

〔従来技術〕

光集積回路の形態としては、同種の材料(主に、GaAs系、InP系の半導体材料)のみで構成されるモノリシック形と異種材料の組み合わせからなるハイブリッド形とがある。ハイブリッド形は、光回路部分に光の吸収損失の少ない材料を用いることができる点で有利である。また、多モード用光部品は、モノリシック形での製造は困難であり、ハイブリッド形の適用分野である。

ハイブリッド集積回路を実現するためには、同一基板上で発光素子と光回路とを結合することが必要である。従来、発光素子からの光を光導波路へ結合するにあつては、1) 発光素子の発光面と

光導波路端面とを直接つぎ合わせる直接結合、I) 両者をレンズを介して結合する方法、II) プリズム結合およびIV) グレーティング 合が行なわれている。このうち、II), IV) は実験室に達した方法であり、実用性は乏しい。I) の方法によれば、同一基板上での発光素子と光回路との結合が可能であり、小型化、一体化に向いている。しかし、半導体レーザ(LD)、発光ダイオード(LED)等の発光素子と光導波路との光のスポットサイズが大きく異なるために、結合効率は低く、高々10%程度である。II) の方法では、レンズにより発光素子のスポットサイズを変換することにより高い結合効率が得られるが、同一基板上への一体化は困難である。

したがって、同一基板上で発光素子と光回路との高効率結合を実現するためには、発光素子と光ファイバとの結合で用いられているように、端面レンズを使用してスポットサイズを変換することが必要である。しかしながら、従来は、チャネル光導波路端面への簡便で良質なレンズの形成法が

なかつたので、上述したように同一基板上で発光素子と光回路とを結合したハイブリッド光集積回路はこれまで実現されていない。

(目的)

そこで、本発明の目的は、同一基板上で発光素子と光導波路とをきわめて高い結合効率で結合することのできるハイブリッド形光集積回路を実現するための端面レンズ付チャネル光導波路を提供することにある。

本発明の他の目的は、かかる端面レンズ付チャネル光導波路を適切にかつ簡便に形成する製造方法を提供することにある。

(発明の構成)

かかる目的を達成するために、本発明端面レンズ付チャネル光導波路は、シリコン基板上に形成したチャネル光導波路に対して、その端面付近のシリコン基板をエッチングなどで除去し、その導波路端面部分を溶融することにより、その導波路端面にレンズを形成して構成する。

本発明方法では、まず、シリコン基板上にチャ

ネル光導波路を形成し、そのシリコン基板のうち、少なくともチャネル導波路端面付近の部分除去し、その導波路端面を加熱して溶融することにより、その端面にレンズを形成する。

(実施例)

以下に、図面を参照して本発明を詳細に説明する。

第1図は、本発明の1実施例の端面レンズ付チャネル光導波路を示すものである。ここで、1はシリコン基板、2はシリコン基板1上に配置したチャネル光導波路、3は導波路2の端部に形成された端面レンズ、4はシリコン基板1のうち、エッチングなどで除去された導波路端部付近のくぼみ、5はシリコン基板1のうち導波路2の端部に対応して除去されずに残っている部分である。

第2図(A)~(C)は、この端面レンズ付チャネル光導波路の製造方法を示したものである。ここで、光導波路としては石英系光導波路を用いた。

第2図(A)は、シリコン基板1上に、石英系チャネル光導波路2を形成する工程である。第2図(B)

は、石英系チャネル光導波路2の端部近傍のシリコン基板1をエッチングにより除去し、端部付近のチャネル光導波路2をシリコン基板1から離して浮かせた状態にする工程である。第2図(C)は、シリコン基板1から離れた導波路端部を加熱溶融することにより、端面レンズ3を形成する工程である。

次に、これら各工程を詳しく説明する。まず、シリコン基板1上にチャネル光導波路を形成するには、例えば、以下の方法を用いればよい。はじめに、 SiO_2 、 TiO_2 、 GeO_2 、 BO_2 、 PCl_5 等を原料とする火炎加水分解反応を利用してシリコン基板1上に光導波膜を一様に形成する。この際に、TiおよびGeのドーパ量を制御することにより、光導波膜の屈折率を制御できる。ついで、この光導波膜上にアモルファスシリコン膜を形成し、フォトリソグラフAZ1350Jを塗布する。通常フォトリソグラフィの手法により、AZ1350Jを所望の形状にパタン化する。続いて、パタン化したAZ1350Jをマスクとし、 CF_4 をエッチャ

ントする反応性イオンエッチング法により、アモルファスシリコンをエッチングしてパタン化する。最後に、このアモルファスシリコンをマスクとし、 O_2F_2 および O_2H_2 の混合ガスをエッチャントとした反応性イオンエッチングを行なうことにより、石英系光導波路を所望の形状にパタン化して、シリコン基板 1 上に石英系チャネル光導波路 2 を形成する。

次に、チャネル光導波路 2 の端部付近のシリコン基板 1 を除去する方法について詳しく述べる。第 3 図(A)および(B)は、この一方法であるシリコン基板の異方性エッチングを示す。第 3 図(A)は断面図、第 3 図(B)は上面図である。図中の 1a はシリコンの(100)面、1b は(111)面、1c は(110)面、1d はそれ以外のエッチング面、2a は石英系光導波路のクラッド層、2b はコア層、2c はパッド層である。

この方法を用いる場合、シリコン基板 1 は(100)面を用い、チャネル光導波路 2 は(110)方向と平行に形成する。この条件で、シリコン基板 1 を

KOH 水溶液、ピロカテコール・エチレン・ジアミンなどのアルカリエッチ液に浸すと、石英チャネル光導波路 2 がマスクとなり、シリコンの異方性エッチングが行なわれる。例えば、ピロカテコール・エチレン・ジアミンの場合、シリコン結晶面とエッチング速度の関係は(100):(110):(111)=50:30:3 $\mu m/h$ となる。したがって、(111)面が現われると、エッチングはほとんど行なわれなくなる。このため、シリコン基板 1 は第 3 図(A)および(B)のようにエッチングされる。

上記のエッチング速度の関係から、第 3 図(A)のようにシリコン基板 1 は、導波路 2 を上底とした台形状にエッチングされ、導波路 2 の下部へのエッチングの食い込みはほとんど起こらない。導波路端部では第 3 図(B)のように(100)面のエッチングが速いため、第 3 図(B)に示すように、面 1d が現われる。しかし、これは(111)面ではないので、エッチングは進行し、石英系チャネル光導波路 2 の下部のシリコンへのエッチングの食い込

みが起こり、導波路端部はシリコンから離れて浮いた状態になる。なお、上記エッチングに際しては、石英系光導波路が荒れないことが必要である。そのためには、エッチング液としては、KOH よりも有機アルカリであるピロカテコール・エチレン・ジアミンの方が望ましい。

上記の異方性エッチングの他に、シリコンの等方性エッチングを用いてもよい。この場合の工程を第 4 図(A)および(B)に示す。第 4 図(A)は、エッチングのためのマスク形成工程を示す。プラズマ CVD 法などを用いて、シリコンをエッチングする導波路端部付近以外に、 SiO_2 膜 6 をつける。次いで、これを、フッ酸液(HF 及び HNO_3 の混合液)エッチング液につけると、シリコン基板がエッチングされ第 4 図(B)に示すように、導波路端部付近のシリコン基板が除去される。フッ酸液は SiO_2 を若干エッチングするので、チャネル光導波路保護のため、マスクとしての SiO_2 膜 6 が必要となる。上述のシリコンの異方性エッチングと比較すると、等方性エッチングの場合には、基板とする

シリコン基板の結晶面およびチャネル光導波路を形成する方向に制限はない点は有利であるが、 SiO_2 マスク 6 を形成する工程が入るので、その分だけめんどりである。

なお、チャネル光導波路端部付近のシリコン基板をエッチングするのは、次のような理由からである。まず、第 1 に、端面レンズは加熱溶融によつて行なうが、この際、導波路 2 の端部がシリコン基板 1 に接していると、きれいな球状にならない。したがって、端面レンズとするためには、導波路端部 2 がシリコン基板 1 から離れていなければならない。第 2 に、シリコン基板 1 は伝導度が良く、石英系導波路 2 の端部がシリコン基板に接していると、熱が逃げて、加熱溶融しにくい。

次に、第 2 図(D)に示した加熱溶融によるレンズ形成工程を詳しく説明する。加熱の方法としては、マイクロ・トーチ等による火炎を用いてもよいが、本実施例では、 CO_2 レーザを照射して加熱溶融した。この方法を用いた方が、加工条件を制御しやすい。例えば、 CO_2 レーザビームをゲルマニウム

のレンズにより、スポット径約200 μm に集光する。

ここで、 CO_2 レーザ光パワーが3.5 W以下では石英系光導波路2は溶融しない。光パワーを4.0 W～5.0 Wに設定し、約10秒間照射した場合、照射部分の石英系光導波路2は溶融し、導波路端面に球面レンズ3が形成される。しかし、パワーが5.5 W以上になると、溶融部分がきれいな半球状にならず、先端の溶融部分がシリコン基板1側に垂れ下がつてしまう。これらのことより、レンズ形状は導波路溶融部分に働く表面張力と重力とのバランスで決まり、表面張力が重力より大きい場合に、形状の良い半球面レンズが形成できる。

逆に、溶融温度が高すぎると、石英ガラスの粘性が減少し、表面張力が小さくなるためにレンズ形状がくずれると考えられる。

CO_2 レーザを照射する方向は第3図(A)の正面から、または第3図(B)の上側からが可能であるが、この時照射される面を水平に保つような構成にしておけば、溶融部が垂れ下がることはない。

一方、形成された半球状レンズのレンズ半径は、溶融する導波路部分の長さ依存する。溶融部分の長さは導波路下部へのシリコン基板エッチングの食い込みの深さで決定される。すなわち、シリコン基板に接した石英系光導波路部分では、上述の条件で CO_2 レーザ光を照射しても溶融がシリコン基板に逃げるので溶融しない。したがって、下にシリコン基板のない浮いた状態の導波路部分のみが溶融する。

厚さ55 μm (クラッド層5 μm 、コア層45 μm 、バッファ層5 μm)、径45 μm の石英系光導波路について、シリコン基板のエッチング食い込み量 x と形成されたレンズ半径 r との関係を調べた結果を第5図に示す。

上述のプロセスで形成した、レンズ半径 $r \approx 20 \mu\text{m}$ 端面レンズの効率を調べるために半導体レーザ(LD)との結合効率を調べた。ここで使用したLDは20 $\mu\text{m} \times 0.7 \mu\text{m}$ の発光領域をもつGaAsレーザで、発振波長は875 nmであった。導波路端面レンズのレンズ面とLDの発光面との距離が

80 μm のときに最も結合効率がよく、約50%の効率が得られた。一方、比較のために、端面レンズを形成していない導波路について、同様の結合効率を測定したところ、約8%であり、端面レンズを形成したことにより効率が5倍程度改善されており、レンズの効率を高めることができた。

なお、上述の実施例は、石英系光導波路を用いた場合であるが、これ以外の材料の場合でも本発明は適用できる。ただし、本発明を実施するにあつて好適な材料は、シリコンのエッチング液にエッチングされにくく、かつ融点がシリコン基板より低いものである。

(効 果)

以上説明したように、本発明によれば、シリコン基板上に形成したチャネル光導波路に対して、シリコン基板のうち当該光導波路の端面付近の部分をエッチングなどで除去し、そのチャネル光導波路端面部分に熱溶融を施してレンズを形成するので、かかるチャネル光導波路端面に容易に良質のレンズを形成できる。シリコン基板は、熱伝導

度に優れているので、シリコンに接した光導波路部分は温度が上がらず、シリコンに接していない部分の温度のみが上昇するから、このようにして形成されるレンズのレンズ半径を、導波路の溶融部分の長さにより決定することができ、さらに、この溶融部分の長さは、導波路端面下へのエッチング食い込み量により決定することができる。したがって、本発明の方法によれば、シリコンのエッチング時間を決めることによつて、形成できるレンズの半径を決めることができるので、再現性良くレンズを形成できるという利点がある。さらに加えて、本発明光導波路によれば、例えば第6図に示すように、LD等の発光素子7と光導波路2とを同一基板1上で結合することが可能となる。なお、7aはLD5の活性層を示す。この場合、シリコン基板1はLD7のヒートシンクの役割をも果たす利点がある。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の一実施例である端面レンズ付チャネル光導波路を示す斜視図、

第 2 図 (A) ~ (C) は端面レンズ付チャネル光導波路の製造方法を示す斜視図、

第 3 図 (A) および (B) はシリコン基板の異方性エッチングの態様を示す、それぞれ、断面図および上面図、

第 4 図 (A) および (B) はシリコン基板の等方的エッチングの工程を説明するための斜視図、

第 5 図はエッチングの食い込み量とレンズ半径との関係を示す特性曲線図、

第 6 図は本発明の適用例の 1 つとして同一基板上での半導体レーザと導波路との一体構成例を示す正面図である。

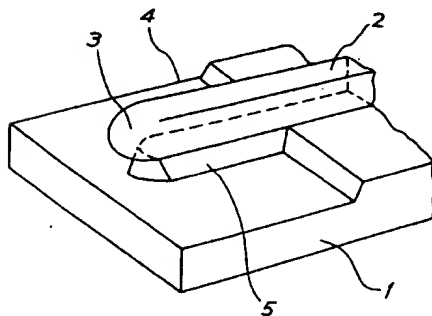
- 1 … シリコン基板、
- 1 a … (100) 面、
- 1 b … (111) 面、
- 1 c … (110) 面、
- 1 d … それ以外のエッチング面、
- 2 … チャネル光導波路、
- 2 a … クラッド層、
- 2 b … コア層、

- 2 c … パツファ層、
- 3 … 端面レンズ、
- 4 … シリコン基板に形成されたいくぼみ、
- 5 … シリコン基板のうち導波路端面付近の部分、
- 6 … SiO_2 マスク層、
- 7 … 半導体レーザ、
- 7 a … 活性層。

特許出願人 日本電信電話公社

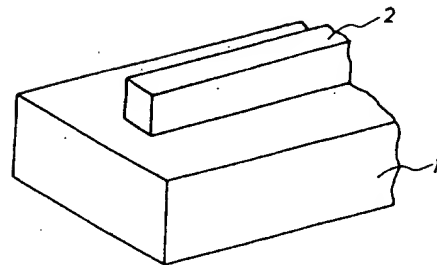
代理人 弁理士 谷 鉄 一

第 1 図

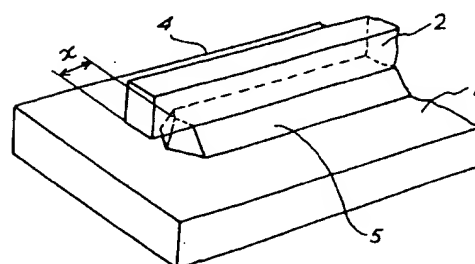


第 2 図

(A)

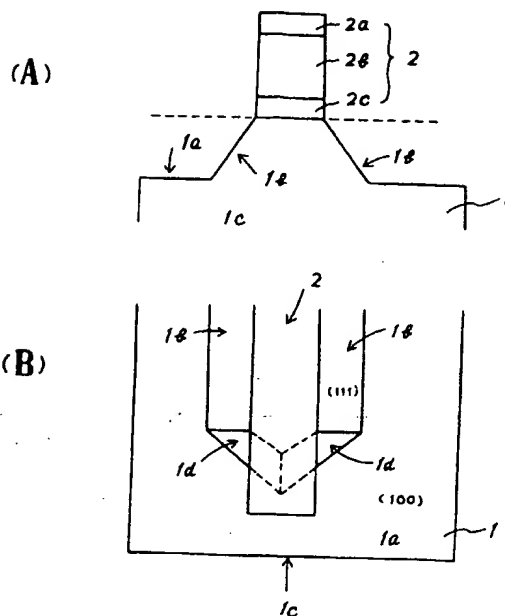
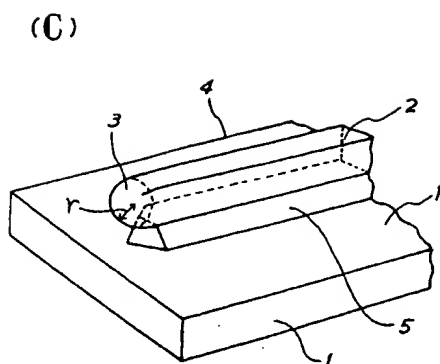


(B)

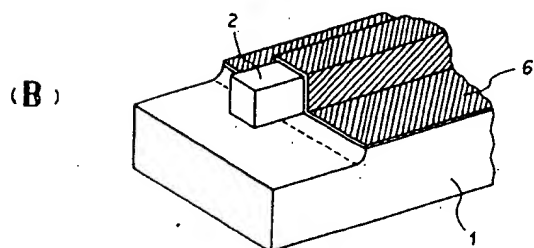
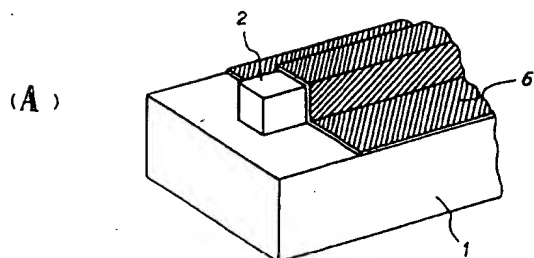


第 3 図

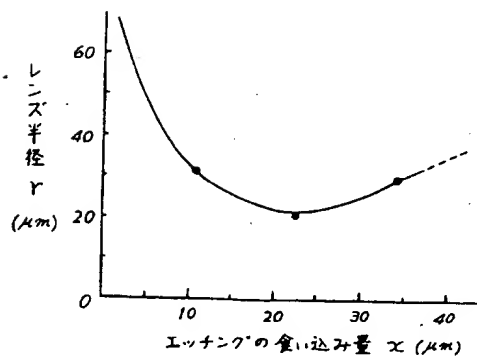
第 2 図



第 4 図



第 5 図



第 6 図

